

BAB III

PEMBAHASAN DAN MODIFIKASI SISTEM *POWER STEERING* PADA UNIT TOYOTA FJ40

A. Spesifikasi Toyota FJ40

1. Dimensi Kendaraan

Panjang	: 3840
Lebar	: 1666
Tinggi	: 2000
Jarak sumbu	: 2285
Jarak pijak depan	: 1460
Jarak pijak belakang	: 1440

2. Berat

Berat kosong	: 1480
Berat depan	: 888
Berat belakang	: 592

3. Engine

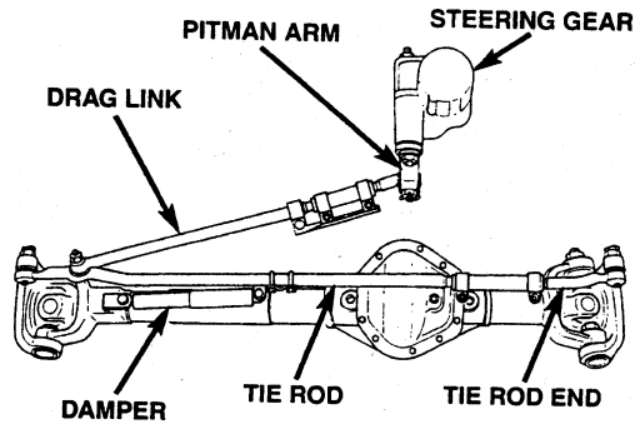
Model	: Toyota Dyna 14B
Diameter x langkah	: 102 mm x 112 mm
Isi silinder	: 3.660 cc
Tenaga	: 98 hp (72 Kw)/3400 rpm
Torsi	: 240 N.m/1800rpm

4. Roda

Diameter velg	: 420 mm
Ukuran ban	: 235/75 R

B. Perencanaan

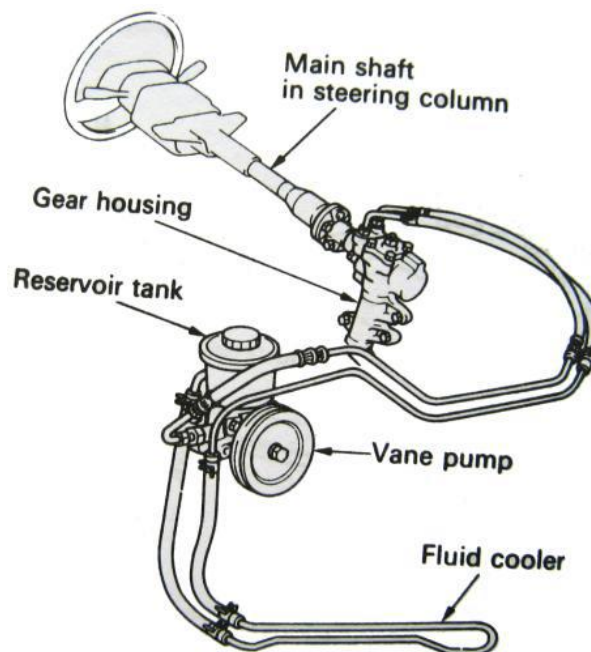
Perencanaan ini yaitu merencanakan apa saja part yang harus di tambah atau diubah agar saat pekerjaan dapat lebih terencana dan efektif. Pada Toyota FJ40 ini menggunakan sistem *steering* manual dengan tipe integral, *steering linkage* untuk suspensi *rigid* dan steering gear dengan tipe *reculating ball*. Sistem *steering* Toyota FJ40 dapat digambarkan seperti berikut:



Gambar 3.1 Sistem *Steering* Manual

(Sumber: <https://Muharfan95.wordpress.com/>)

Sistem *steering* manual Toyota FJ40 ini akan diubah menjadi sistem *power steering*. Seperti Gambar berikut:

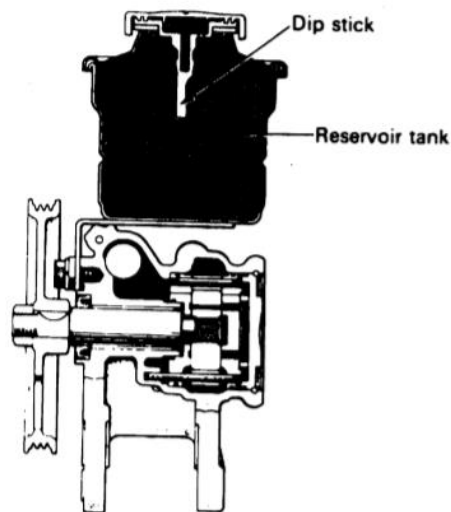


Gambar 3.2 Sistem *Power Steering*

(Sumber: Toyota Astra Motor, 1995, hlm.5-34)

Masih dengan tipe *steering reculating ball* dan *steering linkage* dengan suspensi *rigid* namun ada pergantian part yaitu *steering gear* yang diganti dengan *steering gear* yang diperuntukan untuk *power steering*, dan penambahan part lain yaitu *vane pump*, *recervoir tank*, *hose* untuk pengalir *fluida* dan *drive belt* sebagai media pemindah daya yang di transfer dari *pulley crankshaft* pada *pulley vane pump*.

Pada *vane pump* karena sistem steering terdahulu tidak menggunakan *vane pump* maka direncanakan pembuatan *bracket* untuk *vane pump* yang direncanakan akan dipasangkan pada sisi bagian engine yang berdekatan dengan alternator, dengan bracket alternator menjadi pengeunci dan bagian bawah vane pump dan dapat menjadi pengatur pengencangan *drive belt*. Pada bagian tengah *vane pump* direncanakan akan dipasang *bracket* yang terpasang antara *engine* dengan *vane pump*. Bagian atas *vane pump* yang bersatu dengan *reservoir tank*, pada *reservoir tank* terdapat dudukan *bracket* untuk mengunci bagian atas *vane pump* yang direncanakan dudukan itu akan di pasang *bracket* yang dipasang antara dudukan dengan *engine*. *Bracket* bagian atas itupun mempunyai peran untuk pengencangan *drive belt*.



Gambar 3.3 *Vane Pump* dan *Reservoir Tank*
(Sumber: Toyota Astra Motor, 1995, hlm.5-35)

C. Pembongkaran Sistem Kemudi Unit Toyota FJ40

Pembongkaran Sistem kemudi ini bermaksud untuk pemeriksaan komponen-komponen yang masih dapat digunakan atau tidaknya dan komponen-komponen yang harus diganti sesuai dengan ketentuan komponen *power steering* seperti *steering gear* yang diganti dengan *steering gear* tipe *power steering*.

1. Pembongkaran *Steering Wheel*

Pembongkaran *steering wheel* ini bermaksud pelepasan *steering wheel* yang terpasang pada *steering column*. Pembongkaran *steering wheel* sebagai berikut:

- Melepaskan baut roda kemudi yang terpasang pada *steering column*
- Kemudian Melepaskan *steering wheel* pada *steering column* dan simpan pada tempat yang aman

2. Pembongkaran *Steering Column*

Pembongkaran *steering column* ini bermaksud pelepasan *steering column* yang terpasang pada *cabin* dan *steering gear*. Pembongkaran *steering column* sebagai berikut:

- Melepaskan *knuckle joint* yang menghubungkan antara *steering column* dengan *steering gear*.
- Melepaskan baut pada *bracket steering column* yang terpasang dengan *dashbor*
- Melepaskan baut padaudukan *steering column* yang terpasang pada *kabin*
- Kemudian melepaskan *steering column* pada unit dan simpan pada tempat yang aman

3. Pembongkaran *Steering Gear*

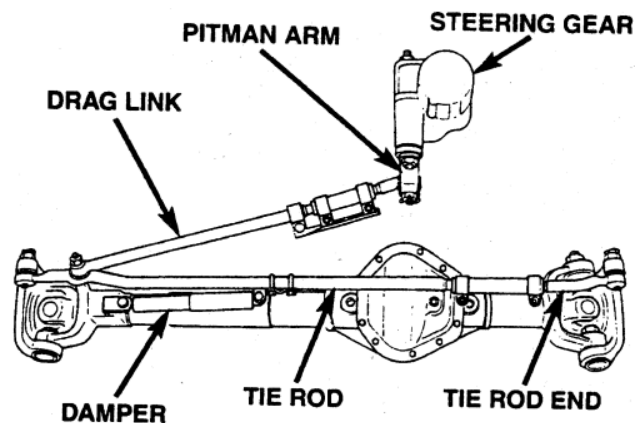
Pembongkaran *steering gear* ini bermaksud pelepasan *steering gear* yang terpasang pada *frame* dan *steering drag*. Pembongkaran *steering gear* sebagai berikut:

- Melepaskan *ball joint* yang menyatu pada *arm pitman* dengan *steering drag*
- Melepaskan Baut pada kedudukan *steering gear* pada *frame*.
- Kemudian melepaskan *Steering gear* pada *frame* dan simpan pada tempat yang aman

4. Pembongkaran *Steering Linkage* dan *knuckle*

Pembongkaran *steering linkage* ini bermaksud pelepasan semua *part steering linkage* seperti *arm pitman*, *tie rod*, *steering drag link*, *Knuckle arm* yang saling terpasang antar *part*. dan pembongkaran *knuckle* yang terpasang pada rem. Pembongkaran *steering linkage* dan *knuckle* sebagai berikut:

- Lepaskan semua *nut* pada *ball joint* yang mengikat *stabilizer* dengan *frame*, *tie rod* dengan *knuckle*, *Steering drag* dengan *arm pitman*, *Steering drag* dengan *tie rod*.
- Lepaskan semua baut yang mengikat pada *knuckle* dengan rem.
- Setelah selesai lepaskan, pisahkan semua *part-part* tersebut dan simpan pada tempat yang aman.



Gambar 3.4 Sistem *steering* manual
(Sumber: <https://Muharfan95.wordpress.com/>)

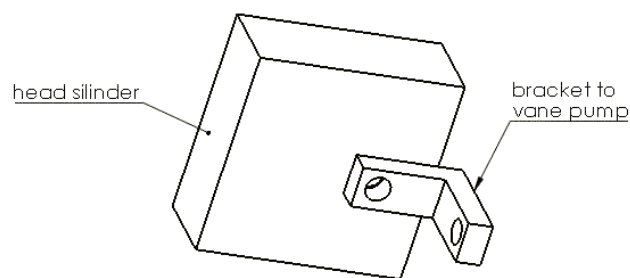
D. Modifikasi dan perakitan Sistem *Steering* Unit Toyota FJ40

Modifikasi sistem *steering* manual menjadi sistem *power steering* seperti pada perencanaan ada beberapa komponen yang harus di ganti dan di tambahkan yaitu *steering gear* yang harus diganti dengan *steering gear* yang di peruntukan sistem *power steering*, penambahan *vane pump*, *reservoir tank*, *hose* dan *drive belt* sebagai penghubung dari *pulley crankshaft* dengan *pulley vane pump*.

Modifikasi dan perakitan kembali sistem steering sebagai berikut:

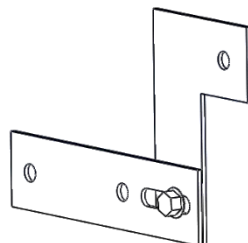
1. *Vane Pump dan Reservoir tank*

Pembuatan *bracket* pada pump ini menggunakan besi plat dengan dilas dan dibentuk agar sesuai dan dapat mengunci *vane pump*. *Bracket* atas dibentuk dengan menyerupai huruf L dan hanya 1 lubang untuk baut yang akan terpasang pada *engine* dan satu lubang untuk baut yang akan terpasang dengan *reservoir tank* yang di buat panjang agar dapat diatur untuk pengencangan *drive belt*.



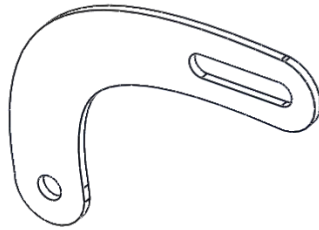
Gambar 3.5 Bracket Vane pump bagian atas

Bracket pada bagian tengah sama dibuat seperti huruf Z dan terpasang antara *engine* denganudukan yang sudah ada pada *vane pump*. *Bracket* tengah ini dibuat agar *vane pump* tegas atau selalu stabil saat terkena getaran dari *engine*.



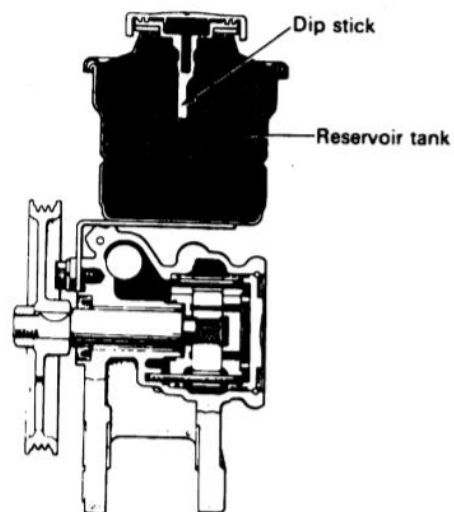
Gambar 3.6 Bracket Vane pump bagian tengah

Bracket bagian bawah disatukan pada *bracket* yang di peruntukan untuk alternator dengan di buat satu lubang lagi yang diperuntukan untuk bagian bawah vane pump agar terkunci dan bisa mengatur pengencangan *drive belt* dengan cara menggerakan *vane pump* menjauhi *pulley crankshaft*.



Gambar 3.7 Bracket Vane pump bagian bawah

Setelah pembuatan *bracket* selesai kemudian pasanglah semua bracker 1,2 dan 3 sesuai dengan peruntukannya, dengan baut yang disesuaikan dengan lubang baut yang telah dibuat.



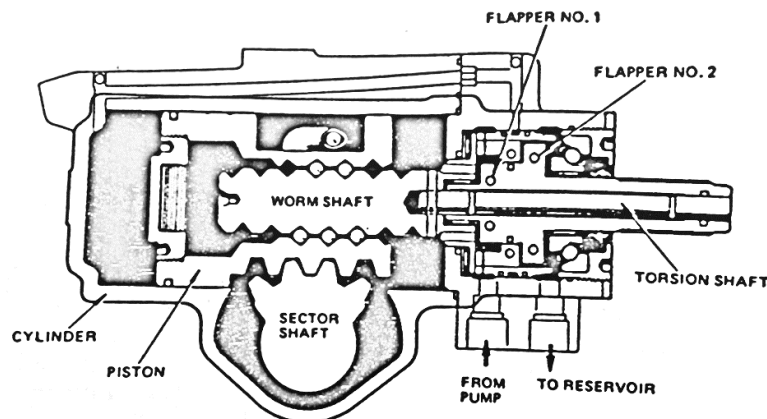
Gambar 3.8 Vane Pump dan Reservoir Tank
(Sumber: Toyota Astra Motor, 1995, hlm.5-35)

2. Drive belt

Pasang *drive belt* pada *pulley vane pump* dengan *pulley crankshaft* dan set kekencangannya. *drive belt* saat diberi beban 10 kg maka keregangannya 7-11 mm. *Drive belt* yang dipakai pada sistem *steering* ini adalah *drive belt* tipe A-45 Mitsubishi.

3. Steering Gear

Pada *steering gear* ini tidak ada pembuatan *bracket* baru karena *bracket* yang terdahulu dapat digunakan pada *steering gear* untuk peruntukan *power steering*. Pasang *steering gear* pada *dudukan steering gear* yang terdapat pada *frame* kemudian pasang *nut*, *washer* dan *bolt* agar dapat mengunci *steering gear* pada *frame* setelah itu kencangkan. *Steering gear* yang dipakai adalah *steering gear* tipe *reculating ball* yang diperuntukan untuk sistem *power steering*.



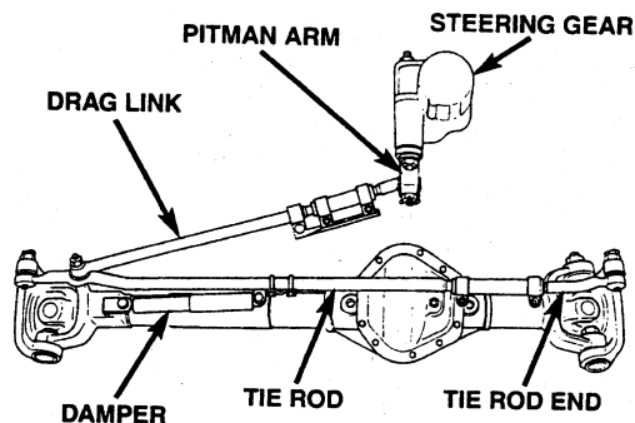
Gambar 3.9 *Steering Gear*
(Sumber: Toyota Astra Motor, 1996, hlm.53-12)

4. Hose Pressure Feed dan Hose Return

Pressure feed terpasang pada saluran masuk *fluida* dari *vane pump* menuju *steering gear* dan *hose return* dari *steering gear* ke *reservoir tank*. Pasang *bolt union* dan *gasket* untuk *bolt union* pada *pressure feed* bagian *vane pump* dan pada bagian *steering gear* kemudian kencangkan. Pasang *hose clamp* pada *hose return* tapi tidak dikencangkan, pasang *hose return* pada *out steering gear* dan pada *reservoir tank*, kemudian kencangkan *hose clamp* agar *hose return* terikat kuat pada *out steering gear* dan *reservoir tank*.

5. *Steering Linkage dan knuckle*

Pada *steering linkage* dan *knuckle* ini tidak ada perubahan maka pada pemasangan *steering linkage* hanya kebalikan pada saat pembongkaran. Pasang semua *nut* pada *ball joint* yang mengikat *stabilizer* dengan *frame*, *tie rod* dengan *knuckle*, *Steering drag* dengan *arm pitman*, *Steering drag* dengan *tie rod*. Pasang semua baut yang mengikat pada *knuckle* dengan rem.



Gambar 3.10 *Steering Linkage*
(Sumber: <https://Muharfan95.wordpress.com/>)

6. *Steering Column*

Tidak ada yang diubah pada *steering column* ini maka pada pemasangan *steering column* hanya kebalikan pada saat pembongkaran. Pasang *knuckle joint* yang menghubungkan antara *steering coloum* dengan *steering gear* kemudian kencangkan baut pengunci kunckle joint dengan *steering gear*. Pasang baut padaudukan *steering column* yang terpasang pada kabin. Pasang *bracket* dan baut untuk *bracket steering column* yang terpasang dengan *dashbor*.

7. *Steering Wheel*

Pasang *steering wheel* pada *steering column* dan atur *steering wheel* agar lurus. Kemudian pasang *nut steering wheel* untuk mengikat dengan *steering column* dan kencangkan.

8. Pengisian Minyak *Power Steering*

Isi *reservoir tank* dengan minyak power steering sebanyak 1 lt. Minyak power steering yang digunakan adalah Evalube GL-4 dengan SAE 90. minyak *power steering* kemudian di *bleeding* karena bisa terjadi ada angin didalam minyak *power steering*. *Bleeding* dilakukan pada engine 100 rpm, kemudian roda diputar secara maksimum kearah kiri dan kanan tiga atau empat kali.

E. Perhitungan Daya Sistem Steering Manual dan Power Steering Pada Kendaraan Toyota FJ40

Data Perhitungan Beban Yang Diterima Sistem Kemudi Pada mobil Toyota FJ40

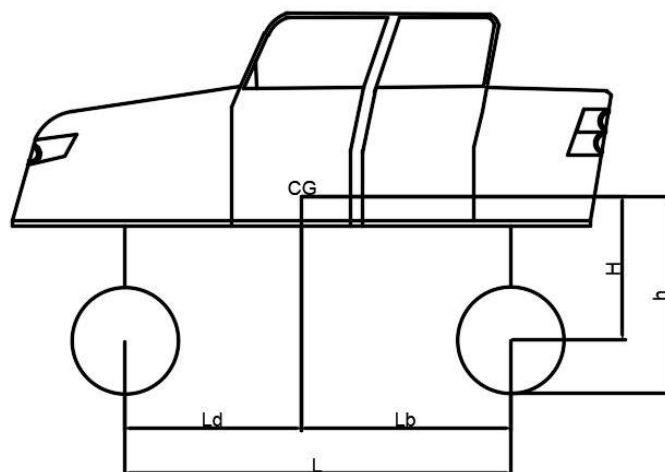
1. Dimensi mobil Toyota FJ40

Dari pengukuran dan pemeriksaan diperoleh data sebagai berikut:

- Berat kendaraan (W) = 1480 kg
- Berat bagian depan (WD) = 888 kg
- Berat bagian belakang (WB) = 592 kg
- Jarak sumbu roda kendaraan (L) = 2285 mm

2. Perhitungan Titik Berat (CG)

a) Titik berat terhadap jarak sumbu kendaraan



Gambar 3.11 Titik Berat Kendaraan Terhadap Jarak Sumbu Kendaraan

Momen di WD = 0

$$WB.L - W.L_d =$$

$$WB.L = W.L_d$$

$$\bullet \quad L_d = \frac{WB \cdot L}{W}$$

$$= \frac{888 \cdot 2285}{1480}$$

$$= 914 \text{ mm}$$

$$\bullet \quad L_b = L - L_d$$

$$= 2285 - 914$$

$$= 1.371 \text{ mm}$$

Keterangan :

W = Berat kendaraan maksimum (kg)

WB = Berat kendaraan bagian belakang (kg)

WD = Berat kendaraan bagian depan (kg)

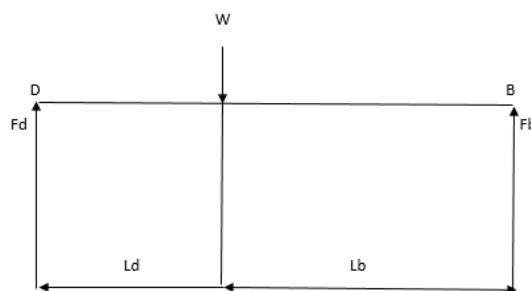
L = Jarak pijak kendaraan (mm)

Ld = Jarak posisi titik berat terhadap poros depan (mm)

Lb = Jarak posisi titik berat terhadap poros belakang (mm)\

3. Perhitungan Beban Statis Kendaraan Pada Roda Depan

Free Body Diagram



Gambar 3.12 *Free body diagram*

Untuk mencari beban statis pada kendaraan Toyota FJ40 bagian depan dapat diambil dengan rumus kesetimbangan.

$$\sum M_D = 0$$

$$W.L_d - F_B (L_d + L_b) = 0$$

$$F_B \cdot L = W \times L_d$$

$$F_B = \frac{w.L_d}{L}$$

Dari data-data tersebut dapat dicari beban statis kendaraan pada roda depan, yaitu:

$$L = 2285 \text{ mm}$$

$$L_d = 914 \text{ mm}$$

$$L_b = 1.371 \text{ mm}$$

$$W = 1480 \text{ kg}$$

Maka beban statis yang terjadi pada poros roda depan sebesar

$$\begin{aligned} F_B &= \frac{w.L_d}{L} \\ &= \frac{1480 \text{ kg} \cdot 914 \text{ mm}}{2285 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$= 592 \text{ kg}$$

$$F_D = w - F_B$$

$$= 1480 - 592$$

$$= 888 \text{ kg}$$

4. Gaya Untuk Membelokkan Ban

Gaya untuk membelokkan roda depan dipengaruhi oleh beban dinamis, karena roda depan banyak menerima gaya ketika kendaraan sedang berjalan. Gaya untuk membelokkan roda depan ke kiri dan ke kanan besarnya sama untuk menentukan

seberapa besar gaya belok yang bekerja pada roda depan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{\text{dinamis}} \text{ untuk satu roda} &= \frac{W_{\text{dinamis}}}{2} \\ &= \frac{888}{2} \\ &= 444 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka besarnya gaya untuk membelokkan roda depan ke kanan adalah:

$$\begin{aligned} F_{\text{kanan}} &= W_{\text{dinamis}} \cdot \sin \alpha \\ &= 444 \times \sin 40^\circ \\ &= 285 \text{ kg} \end{aligned}$$

Besarnya gaya belok pada roda kiri:

$$\begin{aligned} F_{\text{kiri}} &= W_{\text{dinamis}} \cdot \sin \beta \\ &= 444 \times \sin 40^\circ \\ &= 285 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jumlah gaya yang terjadi untuk membelokkan roda depan adalah:

$$\begin{aligned} F_{\text{rd}} &= F_{\text{kanan}} + F_{\text{kiri}} \\ &= 285 + 285 \\ &= 570 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jadi jumlah gaya untuk membelokkan roda depan ke kanan atau ke kiri adalah 808 kg.

Keterangan:

$$F = \text{Gaya (kg)}$$

$$W_{\text{dinamis}} = \text{Beban dinamis satu roda depan (kg)}$$

$$\alpha = \text{Sudut belok roda dalam roda (33^\circ - 40^\circ)}$$

$$\beta = \text{Sudut belok luar roda (33^\circ - 40^\circ)}$$

5. Menghitung Perbandingan Gigi Kemudi

Untuk tipe *recirculating ball*, perbandingan gigi kemudi diperoleh dengan cara membagi jumlah putaran roda kemudi dengan jumlah gerakan pitman arm (Toyota New Step 1, 1995 : 5 – 30).

$$\frac{\text{Jumlah putaran roda kemudi (derajat)}}{\text{Jumlah gerakan } \textit{pitman arm} \text{ (derajat)}}$$

Diketahui;

$$\text{Jumlah putaran roda kemudi} = 3 \times 360^\circ$$

$$= 1080^\circ$$

$$\text{Jumlah gerakan } \textit{pitman arm} = 60^\circ$$

$$\text{Perbandingan gigi kemudi} = \frac{1080^\circ}{60^\circ}$$

$$= 20^\circ$$

Jadi, perbandingan gigi kemudi yang terjadi adalah sebesar 20 : 1 antara jumlah putaran roda kemudi dan gerakan *pitman arm*.

6. Gaya yang bekerja pada roda kemudi

Momen gaya merupakan besaran yang dipengaruhi oleh gaya dan lengan kuasa atau lengan torsi. Lengan torsi sebuah gaya didefinisikan sebagai panjang garis yang ditarik di titik sumbu rotasi sampai memotong tegak lurus garis kerja gaya.

$$\Gamma = F \cdot L$$

Dimana : Γ = Momen, torsi (sigma)

F = Gaya

L = Jarak (lengan gaya)

Diketahui: L (Panjang *Pitman arm*) = 225 mm

L (Rumah Rem) = 85 mm

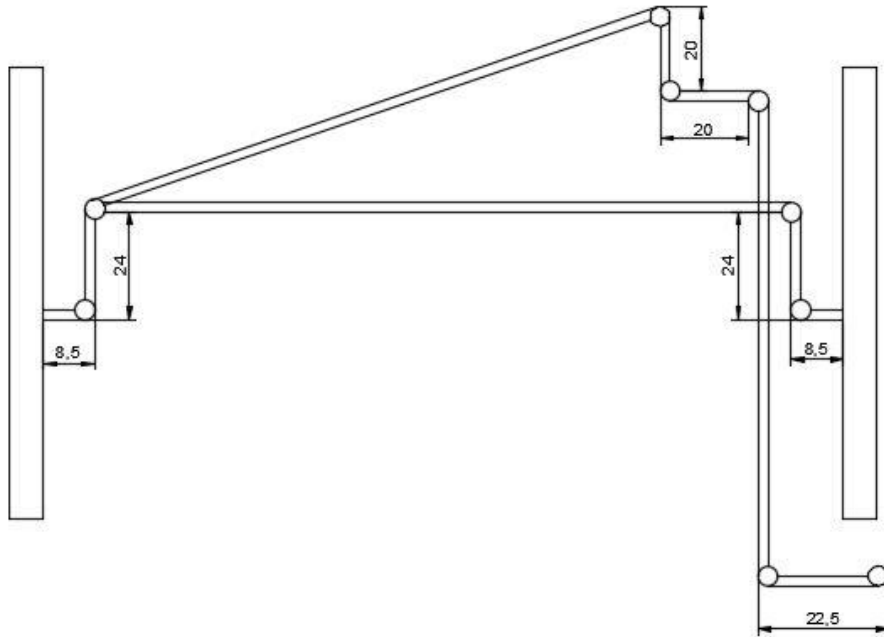
L (Knuckle) = 240 mm

D (Diameter roda kemudi) = 427 mm

F (Beban statis roda depan) = 404 kg

$$C \text{ (Perbandingan gigi kemudi)} = 20 : 1$$

Besarnya gaya yang diteruskan untuk membelokkan ban ke roda kemudi :



Gambar 3.13 Kontruksi Sistem steering Toyota FJ40 dan Ukurannya

$$\Gamma_1 = F_1 \times L \text{ rumah rem}$$

$$= 285 \times 8,5$$

$$= 2.422,5 \text{ kg}$$

$$\Gamma_1 = \frac{F_1}{L \text{ Knuckle}}$$

$$= \frac{2.422,5}{24}$$

$$= 100,93 \text{ kg/cm}$$

$$\Gamma_1 = F_1 \times L \text{ arm pitman}$$

$$= 100,93 \times 22,5$$

$$= 2.270,925 \text{ kg}$$

Karena adanya perbandingan gigi (C), maka momen dibagi dengan perbandingan gigi 20 : 1 = 20

$$\begin{aligned}
 \Gamma_2 &= \frac{\Gamma_1}{C} \\
 &= \frac{2.270,925}{20} \\
 &= 113,546 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

Besarnya gaya untuk membelokkan kemudi:

$$\begin{aligned}
 F_2 &= \frac{\Gamma_2}{\text{jari-jari roda kemudi}} \\
 &= \frac{113,546}{21} \\
 &= 5,4 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

Jadi, untuk membelokkan roda kemudi kekanan ataupun kekiri pada sistem steering manual membutuhkan gaya sebesar 5,4 kg/cm.

F. Analisis Perhitungan Pada Power Steering

Analisis Perhitungan ini menggunakan beberapa asumsi yang diambil dari tugas akhir Freddy Tinta Saputra yang bersumber dari Toyota sebagai tetapan dalam melakukan perhitungan. Adapun tetapan tersebut adalah sebagai berikut:

Debit aliran minyak power steering

(Toyota Astra Motor pada Freddy Tinta Saputra, 2013:56)

Saat kecepatan rendah (Q) : 6,6 liter/menit

Saat kecepatan tinggi (Q) : 3,3 liter/menit

Tekanan maksimum pompa (P_p) 72-82 Kg/cm²

(Toyota Astra Motor pada Freddy Tinta Saputra, 2013:56)

Momen kemudi saat *engine idle* (M_k) = 5,5 N.m

(Toyota Astra Motor pada Freddy Tinta Saputra, 2013:56)

1. Menghitung Gaya Dorong pada Power Piston (F_p)

Power piston yang ada pada gear box steering terdorong oleh tekanan yang diberikan minyak power steering yang dapat terjadi karena pompa power steering memompa minyak steering dan ditransfer menuju gear box steering.

Maka dari itu besarnya gaya dari power piston dapat dirumuskan sebagai berikut:

(Zulfikar, 2012:56 pada Freddy Tinta Saputra 2013:59)

$$F_p = P_p \times A_p$$

$$F_p = P_p \times \pi r^2$$

Dimana:

F_p = gaya dorong pada *power piston* (N)

P_p = tekanan dari pompa *power steering* (N/m²)

A_p = luas penampang *power cylinder* (cm²)

Gaya ini merupakan gaya yang diberikan untuk membantu mendorong *steering rack* di dalam *power cylinder*. Diketahui diameter *power cylinder* adalah 65 mm. Besarnya gaya dorong yang diterima *power piston* saat kecepatan kendaraan *idle* dengan kemudi dalam posisi *full lock* adalah:

$$F_p = P_p \times A_p$$

$$F_p = P_p \times \pi r^2$$

$$= 82 \times 3,14 \times 2,1^2$$

$$= 1.135,486 \text{ kg}$$

Gaya membelokan ban ke roda kemudi pada steering manual 2.270,925 kg dengan dibantunya oleh tekanan hidrolik 1.135,486 kg maka gaya belok kemudi steering manual dikurangi tekanan hidrolik sama dengan 1.135,439 kg .

Kemudian karena adanya perbandingan gigi (C), maka momen dibagi dengan perbandingan gigi 20 : 1 = 20

$$\Gamma_2 = \frac{\Gamma_1}{C}$$

$$= \frac{1.135,439}{20}$$

$$= 56 \text{ kg/cm}$$

Besarnya gaya untuk membelokkan kemudi:

$$F_2 = \frac{F_4}{\text{jari-jari roda kemudi}}$$

$$= \frac{56}{21}$$

$$= 2,7 \text{ kg/cm}$$

Jadi, untuk membelokkan roda kemudi kekanan ataupun kekiri pada sistem power steering membutuhkan gaya sebesar 2,7 kg/cm.

Dapat disimpulkan bahwa perbedaan gaya yang diberikan pada sistem steering manual dan sistem power steering bisa dihitung sebagai berikut:

$$F = \text{gaya steering manual} - \text{gaya power steering}$$

$$= 5,4 - 2,7$$

$$= 2,7 \text{ kg/cm}$$

G. Biaya Produksi

Modifikasi sistem steering manual ke sistem power steering pada unit Toyota FJ40 menghabiskan biaya produksi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Biaya Produksi

NO	Uraian	Harga
1	Steering Gear dan Vane Pump	Rp. 2.500.000
2	Minyak Power Steering	Rp. 100.000
3	Hose Preesure Feed dan Hose Return	Rp. 230.000
4	Drive Belt	Rp. 35.000